

経済政策思想としてのITイノベーション

東 條 隆 進

目 次

1. はじめに
2. IT技術へのプロセス
3. 企業生産と技術革新
4. イノベーション・スピード
5. 資本・労働概念の再検討
6. むすび

1. はじめに

今日進行している新素材・バイオテクノロジー・エレクトロニクスの三大技術革新さらに高温超伝導・アトムテクノロジーとが結びついて、技術融合と技術多用途化を中心とした産業展開を可能にし、それが革新的技術を生み出し、新たな産業創出を可能にするといわれている。その中でもIT革命ということが最も大きな経済社会的出来事として叫ばれている。半導体技術に代表される高度技術力を背景にして日本経済の進展のシンボルとされている。企業だけでなく国家の政策、さらに教育の中心を占めるようになっていく。

本論ではIT革命の経済学的意味、経済政策的意義はどのようなものか、この点に焦点を当てて論じることしたい。

2. IT技術へのプロセス

ITとはなにか。ITとはInformation Technologyの略字であり、したがって「情報技術学」と訳せる。「情報」と「技術」が学的に結合したものである。

Information scienceについて

「情報」は「情報学 (information science)」,あるいは「科学情報 (scientific information)」として情報の性質と作用、流れを支配する要因を研究し、アクセスや利用が最も容易になるように情報を処理する手段を探求する科学として発展を遂げている。情報の処理過程に

は、情報の生産・配付・収集・組織化・蓄積・検索・解釈・利用が含まれる。この分野は数学・論理学・言語学・心理学・コンピュータ技術・オペレーションズリサーチ・コミュニケーション科学・図書館学・経営学・経済学に由来している。

1905年に開催された経済学の国際会議でベルギーのPaul Otletによってdocumentationという用語が使用されて以来、technical documentationやcommercial documentationという概念が使用されるようになり、documentology, documentalisticsという用語も使用されるようになった。ドキュメンテーションは図書館学や書誌学と深い関係を持ったが、しかしそれらと区別する仕方でも発展していった。ドキュメンテーションの正確な定義が追及される過程で、それがあらゆる種類の知的活動の記録を収集し、分類し、容易に入手できるようにする技術面が重視され、創造力ある専門家が自分の主題における先行研究成果を知り、その専門家たちが研究を効果的に遂行するための情報・文献を提供する過程が重視された。ドキュメンテーションは専門家集団の内部、集団間における一次資料の間接的コミュニケーションに関係した、書誌的組織化の一過程であり、情報のコミュニケーションに関連する活動の全体、記録された専門知識を秩序立てて提示・組織化・交換するのに必要な技法である。記録された知識を収集・コード化・提供することを含む情報システムの分析、新しい方法を生み出すための技術開発に従事する全過程である。ドキュメント作成、ドキュメント配付、ドキュメント利用という三つのプロセスからなる技術である。

この学問は「インフォマトロジー (informatology)」として直観的处理とアルゴリズム的处理とを統合する情報処理分野としても発展し、「インフォマティクス (informatics, informatik, informatique, informatica)」としてinformationとautomaticの合成語としても発展しつつある。インフォマティクスは科学情報活動の枠組み、つまりその理論・歴史・方法論・組織だけでなく、科学情報の構造と特性を探究する学問である。インフォマティクスは科学情報の発表・収集・分析と総合による処理・蓄積・検索・配付に関する最適方法や手段を開発することである。インフォマティクスは論理的（意味的）情報を扱う。informaticsはCybernetics, semantics, bionics等と同様に作られた用語である。（上田修一（1989）、25～39ページ）

Computer technology について

情報がコンピュータによって伝達される。このコンピュータがパーソナルコンピュータになることによってパソコン通信が、モデム（変復調装置）などの回線終端装置を介して電話回線や専門回線と接続して、相互にデータ通信を行うことができるようになる。モデムと通信ソフトがそろえばだれでも簡単にパソコン通信を行う事ができることから、パソコン通信が革命的に増加している。パソコン通信の特徴の一つとして、パソコン通信のセンターにおいて、多様なコミュニケーション手段が提供される。パソコン通信ネットワー

クは、パソコン通信のマルチメディア化、パソコン通信システムのネットワーク化、パソコン通信の国際化、一本の電話線の多重利用など、高機能パソコン通信の実現に向けての開発が急速に進んでいる。

通信の究極的目標は、「何時でも」「どこでも」「誰とでも」「直ちに情報を伝える」ことであり、移動通信は必須の技術となる。そのような移動体との通信を行うためには、無線以外の有効な代替手段は考えられない。無線通信は自由空間を伝播する電波を利用する通信であり、無線通信は、移動通信、マイクロ波通信、衛星通信に大別され、この無線通信でも有線通信（光ファイバーや同軸ケーブルも含む）同様、情報サービスの多様化、需要の増大に対処するためにデジタル化が推進されている。

衛星通信は地上の衛星通信局（地球局9）から発射された電波を宇宙空間に浮かぶ通信衛星内の中継器で増幅し、相手地球局に送信する無線通信である。高度約3万6000kmの赤道上空に人工衛星を打ち上げ、月のように地球の周りを回させる。高度を適切に設定すると、地球の自転速度と人工衛星の公転速度が一致するため、地球上のある地点から衛星を見ると、衛星が赤道上に静止しているように見える。これが静止衛星と呼ばれるものであり、通信衛星も静止衛星の一つである。一つの通信衛星で、地球全表面面積の約三分の一に達する広い範囲をサービスすることができるため、国際通信ネットワークの基幹システムとして、海底ケーブルとともに不可欠の通信手段になっている。衛星通信としては大洋を横断する大陸間の長距離国際通信を提供する事を目的としたインテルサット（INTELSAT＝国際電気通信衛星機構）と、船舶、航空機などの移動体との通信を提供することを目的としたインマルサット（INMARSAT＝国際海事衛星機構）の二つが代表的である。しかし最近では、高度800～1万kmの軌道を廻る周回衛星を利用して、世界のどこでも通信・通話が可能な「移動体衛星通信構想」がアメリカの企業を中心に動き始めている。

通信技術の発展は通信サービスの総合的利用、通信サービスの総合化を必要にさせる。ISDN（Integrated Services Digital Network）とはデジタル通信技術をベースとして音声、データ、画像などの各種通信メディアを総合的に処理するとともに、情報処理技術を導入することによって、より高度な通信サービスの実現をめざすサービス総合デジタルネットワークである。ISDNは二つの概念を基本にしている。一つは「デジタル統合網」、もう一つは「サービス総合網」である。

「デジタル統合網」は伝送系と交換系、端末系までをデジタル技術で一体化しようというものである。デジタル技術を基盤とすることで、伝送系と交換系との間に重複していた多重変換装置の要素を除去して系統的で高品質の通信網を構築しようとするものである。「サービス総合網」は公衆網、専用線、パケット交換網、LAN（Local Area Network）などの複数のネットワークを相互接続してネットワークが可能とする電話、データ通信、画

像通信などの通信サービスを総合的に処理しようとするものである。ISDNサービスの特徴は、高速・高品質通信が可能、一本の回線で同時に音声・画像・データ送信ができる複数チャンネルの利用が可能となり、情報チャンネルと信号チャンネルの分離による発信者番号通知・料金情報通知・複合接続などの付加サービスが可能となる。

ISDNはB-ISDN（Broadband aspect of ISDN = 「高速帯域ISDN」）として広帯域化して広範囲な情報を伝送できるようにしたものである。B-ISDNの特徴は自然動画像を含むマルチメディア通信のように、発生情報量が時間的に大幅に変化するメディアに対応可能で、低速度から高速度までの情報信号を一元的に伝送できる事にある。

広帯域通信網は3つの技術進歩によって可能となる。第一は光ファイバーの大容量化である。光ファイバーによる大容量デジタル通信技術は、伝送容量の増大、中継間隔の長距離化、コストの低減化で急速な進歩を見せている。第二は、ATM（Asynchronous Transfer Mode = 非同期転送モード）交換技術の開発である。ATMでは情報を48ビットの「セル」という容器に詰め込んで、それに5ビットの宛先ヘッダをつけて情報伝達を行う。これによって一種類の交換機で低速から高速までの信号を統一的に処理する事ができる。第三に同期デジタル・ハイアラキー（SDH = Synchronous Digital Hierarchy）の標準化である。これにより世界共通の広帯域用の同期インターフェースが確立された。

このようなB-ISDNにより、ユーザーは「好きな時に好きなだけ好きなところに」送信できるようになる。広域並列処理などの高速データ通信、テレビ放送などの片方向映像伝達、マルチメディア通信などの双方向映像伝達など多様な利用が可能になった。（東大先端研グループ（1993）、238～240ページ）

Software工学

ソフトウェア工学（software engineering）とはソフトウェア開発の生産性、信頼性の向上をめざして、プログラムとそれに関連するドキュメントの設計、作成、検査、運用、保守などのソフトウェア開発のすべての側面において工学的・系統的に遂行できるように生産技術を体系化し工学的アプローチを図る学問分野である。コンピュータが汎用システムとして使用されてきたため、ハードウェアよりもソフトウェアの方がシステム要求を満たすようになったためソフトウェアが巨大化・複雑化した。ソフトウェア開発は、ハードウェアのように、設計や開発の方法・手順が確立していない。その結果、開発効率が低下する事によるソフトウェアの供給不足がソフトウェア危機となった。

要求定義、設計、保守、検証等の開発工程がソフトウェア品質向上に関係する事が明らかになり、プログラミング方法論、構造化プログラミング、モジュラープログラミング、構造化設計、要求仕様技法などの概念や技法が提案された。そしてソフトウェア設計の自動化に向けて、自動プログラミングなど各開発工程での自動化が研究され、上流部の自動

化が困難な工程においても人工知能（Artificial Intelligence = AI）や知識工学による効果的支援が必要になる。

そしてここでドキュメンテーションやインフォマティクスに基づくデータベースからの発見、Knowledge Discovery in DatabasesによるDiscovery Aidが重要な役割を占める事になる。知識を大量のデータから発見する事は、未知で潜在的に有用な情報を抽出する重要なプロセスである。

「発想」もまた重要である。発想という活動の支援に関する研究が盛んになってきている。産業分野での製品開発過程や学術研究において、独創的なアイデアが重要になり、人工知能の領域でもコンピュータを利用した発想支援システム研究が注目されている。人間の活動を代行できる知的機械の実現を目指す研究、機械による人間の知的活動の支援を目指す研究である。コンピュータと人間が対話的に作業を行うことによって、アイデアや知識の断片の整理をし、発想過程や人間の創造性そのものの解明をし、発想という活動をコンピュータに実装し、コンピュータによる発想を目指しつつある。

これらすべてexpertsystem（エキスパートシステム）になる。エキスパートシステムとは問題解決の対象となる領域の専門知識を利用して推論し、専門家とおなじ問題解決能力をもたらし知的システムである。内部的には専門知識を蓄えた「知識ベース」とそれを持ちて問題解決をする「推論エンジン」からなる。

知識はプロダクションルールと呼ばれる「If...Then」の形で表現され、推論形式には直接依存させない。ここから知識ベースに知識を追加する事によって、システムを段階的に向上させることができるようになる。現実世界に生じる複雑な問題に対して、厳密な論理構造の解明なしに、これらの知識の適用によって解を求めることが可能となる。そのことがいままでのコンピュータ技術では取り扱いが困難であった実際問題への応用が可能になり、産業界でも多くのシステムが構築されるようになった。

しかし現在、専門家の知識をコンピュータで明確に表現する事が困難であり、表層的な知識の演繹に基づく問題解決の柔軟性の欠如問題、大規模な問題に対して整合性をもったシステム構築の困難さが指摘されている。そのため現在研究されているのが、適切な知識獲得・表現方法の研究、常識を含む大規模知識ベースの開発、知識ベースの整合性管理、高度な推論方法の開発が進められている。こうして故障診断、化学構造推定、コンサルティング、スケジューリング、プラント制御など、エキスパートシステムが企業を中心に実用システムとして開発されている。（東大先端研グループ（1993）、250～252ページ）

3. 企業生産と技術革新

情報は単方向のマスメディアから双方向のネットワーク・メディアとして社会全体を情報化する。マイクロプロセッサとインターネットが決め手となる。大量生産できるマイ

クロプロセッサによってコンピュータの価格を低くしパソコンをはじめ、ゲーム機や携帯電話など、安価な情報機器に組み込まれ、複雑高度な情報編集を行えるようになる。そして情報機器を自在につないで通信できるようにしたのがインターネットである。TCP/IP (Transition Control Protocol/Internet Protocol) という標準の通信手順によって自由に情報の交換が可能になる。こうして情報を蓄積し、編集し、通信しあうことが可能になる。

コンピュータを高速化する技術が安価なコストで進められる。計算機の演算速度を早めるためには、複数の計算機を並列に稼働させる方法と、単独の計算機を極限まで高速化させる方法がある。また単独の計算機を高速化するためには、一台の制御装置の下に演算装置を複数用いる場合と、高性能な演算装置を一台だけ用いる場合がある。後者の場合、計算機の動作の時間軸を律するクロックパルスの周期をどれほど短縮できるかが問題になる。しかし、クロック周期は、回路素子の能力や電気信号の伝播速度に制限されるため、演算を並列に実行して高速化することになる。そして最終的には演算を並列的にする単位をどこまで細分化するかという問題に帰着する。

高速で大量の数値計算を行えるように設計された計算機がスーパーコンピュータであるが、科学技術演算などに多く現れるベクトル計算やマトリックス演算を処理するためにスーパーコンピュータが重要な役割を果たす。「スーパー」には一台の制御装置の下に多くの演算装置をもつプロセッサや、制御装置と演算装置とをそろえた小計算機を多く集めたパラレルプロセッサ、一台の制御装置と巨大な高性能演算装置一台をもったパイプラインプロセッサがある。「スパコン」にはパイプラインプロセッサに分類されることが多い。これらの計算機は大規模な数値演算に最適化されている。

パーソナルコンピュータとスーパーコンピュータによって情報化の空間化と時間化が急速に進む。世界がVirtual Reality化し、フライトシミュレーション、医療シミュレーション、宇宙空間、原子炉内での作業ロボットの制御、様々なアミューズメントなど、バーチャルリアリティ技術により、キーボードとマウスだけの人間—コンピュータ間のインターフェースの改善が期待される。社会生活全体が革命的な変化の中にさらされる事になる。

企業のIT化

社会のIT化の過程でもっとも重要なのが社会の再生産過程での革命である。産業「革命」以降の生産過程で社会的生産は市場—企業での生産が主役を演じる事になった。産業革命によって機械生産が主役を占めるようになって、生産の市場関係における収益—費用関係に基づく経済的余剰計算が再生産過程において決定的に重要になったきた。生産過程で使用される精巧な機械は高価なので大量の財が生産されなければならない。産業革命は高価な機械を廉価な非熟練労働の雇用と「結合」させることにより、そして生産物が「規

模の経済」によって大量生産されることによって企業利益を獲得可能にして企業—市場経済体制、産業社会を到来させた。

高価な機械による生産は大量需要・大量使用・大量消費過程を必要とする。「規模の経済」による供給側面における大量生産による生産物価格の低下と需要側面における大量使用・大量消費創出によって大量生産・大量流通・大量消費社会を作り出した。

生産過程においては高価な機械生産を技術革新によって安価なものにしようとする。機械による機械生産、技術による技術の生産、技術による資本の再生産によって商品価値と生産コストを低下させて行く。

この生産過程は需要者として労働者の購買力に依存する度合いを高めていく。企業が商品生産のためにコストとして支払った労働者に対する賃金が企業が生産した商品の需要者として登場する。生産主体としての企業は労働賃金、労働コストを出来るだけ低く抑えなければならない。しかし企業が生産した生産物の需要者としてはできるだけ労働者に高い賃金を支払わなければならないという矛盾の中におかれる。

そして高価な機械を安価にしようとする技術革新は労働者の技術訓練を必要にさせる。否、「労働者」という概念そのものを「技術者」という概念に変えさせる。そしてIT革命とはこの過程が生産過程だけでなく、生産・流通・消費という経済循環全体に進行するということなのである。

経済学は産業革命の出来事を概念化するために「生産関数」（生産可能集合）という記号モデルを開発した。 $O = F(K, L)$ という図式である。 O は生産物、 K は資本、 L は労働力である。経済理論は K と L との関係の中にすべての関係を解明しようとした。微分関係が決定的意義を持つとした。この生産関数の中で、資本 K は資金としての資本と生産材としての資本からなるが、生産材は限りなく技術化する。そして労働力 L も限りなく技術化する。IT革命によって資本、労働、技術の概念的区別がつかなくなる。

生産関数として表現された生産活動の結果としての生産物が企業によって市場に供給される。そして市場で需要される。企業は生産された生産物を販売して収益を獲得し、生産コストを差し引いて経済的余剰を獲得する。この生産関数は市場経済においては企業の行動原理としての利潤原理に組み込まれる。企業は生産物を販売して収益を獲得し、生産活動で必要とされたコストを支払った経済的余剰が利潤という形を取る。企業は出来る限り利潤を増大させようとする。そして利潤を獲得するために資本コストを低下させる。

利潤増大化 = 収益増大化 - 費用低下化

生産関数が利潤原理に包摂される時、生産関数は分裂する。収益関数と費用関数の分裂である。収益関数は最大化を求められ、費用関数は最小化を求められる。収益関数では収益を増大させるような技術革新・イノベーションが求められ、費用関数では費用を低下させるような技術革新・イノベーションが求められる。労働力も収益増大が可能な効率性・

生産性が求められ、費用低下の可能な効率性が求められる。労働力が技術革新・イノベーションの論理によって変えられる。

産業革命当時は機械生産規模の拡張の過程で労働力の雇用が増大していったが、技術・イノベーションがソフト工学化する過程で労働力もソフト化する。肉体労働、いわゆるブルーカラー労働のみならず、いわゆるホワイトカラー労働も排除される傾向を持つようになる。生産効率を高めるのは技術労働であるという事になる。

企業の私的利益追及の論理的表現としての利潤最大化追求競争は資本競争、労働力競争に加えて技術競争になり、技術そのものが価値を持つようになり、価格を持つようになる。企業の商品生産にとって技術開発 R & A が決定的に重要になり、技術そのものが「経済的商品」になる。(Grossman, G. M., and E. Helpman (1997))

進行する技術革新

企業は利潤追求のために技術革命・革新を進めることが求められる。商品間競争が技術革新とイノベーションの商品競争を激化させる。新しい効用に対応できるように技術革新を商品競争化させる。

すでにシュンペーターは「新結合の遂行」(durchsetzung neuer Kombinationen)としてのイノベーションを5項目に分けて提示した。

1. 新しい、すなわち消費者の間には未だ充分に知られていない財貨あるいは新しい品質の財貨の製造。
2. 新しい、すなわち当該産業部門において實際上未知な生産方法の導入。これは敢えて科学的に新しい発見に基づくことを要せず、また商品の商業的取り扱いにおける新方法をも含む。
3. 新販路の開拓、すなわち当該国の当該産業部門に従来未だ紹介されていなかった市場の開拓、ただしこの市場が既存のものと否とを問わない。
4. 原料あるいは半製品の新しい獲得資源の占拠。この場合においてもこの獲得資源がすでに存在するか否か——その理由は単なる閑脚かまたはその獲得が不可能と認められたかによるのであろう——あるいはそれが初めて創り出されなければならないか否かはまた敢えて問うところはない。
5. 新組織の達成、すなわち独占的地位（例えばトラスト化による）の形成またはある独占の破壊のごとし。(J. A. Schumpeter (1964), SS. 100-101)

このシュンペーターのイノベーションの定義は今日も基本的には変わっていない。しかし、科学的発見、技術進歩、技術革新の占める比重が全イノベーションの中ですます大々くなってきた。

産業革命は蒸気機関と製鉄技術を中心に始まり、機械制工業時代を生み出し、それが産

業に機械生産体系と輸送体系を発達させた。次に第二次技術革新が電力、電気通信、内燃機関、重化学工業として続き、大量生産のもとで分業と流れ作業が本格化し、自動車産業、家庭電化製品、マスメディアが誕生した。第三次技術産業が新素材、バイオテクノロジー、エレクトロニクスとして発展し、ここに多品種少量生産が始まり、半導体技術に代表される高度技術力産業が発展する事になった。

現在進行している最先端技術は次のようなものである。

エレクトロニクスの先端技術

半導体デバイスの代名詞、シリコンデバイス。ますます集積度を増す集積回路。素子が立体的に配置される三次元回路素子。特定用途向け集積回路、ASIC。結晶性をもたないアモルファスシリコン。絶縁体と金属の中間の性質をもつ半導体。GaSaに代表される化合物半導体素子。ヘテロ接合を利用したHEMT。大電力用に多く使われる静電誘導トランジスタ。バルチュエ効果を利用した電子冷凍素子。電子レンジなどで活躍するマイクロ波素子。メゾスコピックエレクトロニクス。電子の波動性を利用した電子波干渉型デバイス。各種デバイスに応用される共鳴トンネル効果。半導体結晶薄膜を周期的に重ねた超格子。X線領域での応用が期待されるSOR。より高温での超伝導をめざす超伝導体。超伝導現象を利用した超伝導デバイス。高速、低消費電力のジョセフソン素子。磁気測定に利用されるSQUID。大容量・低価格をめざすICメモリー。一般的な外部記憶媒体、フロッピーディスク。高速で大容量が期待される垂直磁気記録。各分野で活躍するビーム・テクノロジー。半導体の再結合発光を用いた半導体レーザー。量子井戸半導体レーザー。高効率・高出力が期待される自由電子レーザー。光通信に活躍する光ファイバー。光ファイバー通信とEDFA。光を電磁波として扱うコヒーレント光通信。光ファイバーを用いた光ファイバージャイロ。書き換え可能型も登場した光ディスク。さまざまな光メモリの記録方式。次世代の高密度記録方式PHBメモリ。光通信のカギをにぎる光スイッチ。光を用いた配線、光インターコネクション。OEICと光集積回路。光による演算処理、光コンピューティング。原子レベルで見る走査プローブ型顕微鏡。流動性と光学的異方性を合わせもつ液晶。電気製品に多く使われる液晶ディスプレイ。フラットパネルディスプレイ。原子レベルで操作するナノテクノロジー。LSI作製に活躍するサブミクロン加工。真空中で薄膜をつくる真空蒸着法。集積回路製造のリソグラフィー技術。シリコンを堆積させるSOI技術。単結晶薄膜を形成するエピタキシー。SOIに利用できるグラフォ・エピタキシー。ビーム状の蒸気で行う分子線エピタキシー。溶液を用いないドライプロセス。原子を弾き飛ばすスパッタリング法。化学反応によって薄膜をつくるCVD一法。表面改質技術にも利用されるイオン注入技術。

バイオ・医療の先端技術

遺伝子の本体を探る研究。遺伝子とタンパク質で構成される染色体。染色体を操作する染色体工学。雌だけを発生させる雌性発生の技術。雄だけを発生させる雄性発生の技術。巨大な生物を得る三倍体の技術。動物の初期胚を操作する発生工学。キメラ生物を造り出す技術。クローン動物を造り出す技術。塩基と糖とリン酸からなるDNA。生命の起源とも考えられるRNA。ほとんどすべての生物に共通な遺伝暗号。タンパク質の工場、リボソーム。生物の性質が変わ

る形質転換。他の遺伝子を組み込む遺伝子組み換え技術。遺伝子の輸送屋、ベクター。DNAを切断する制限酵素。DNAを増幅させるPCR法。次々と登場するバイオ医薬品。外来遺伝子を導入したトランスジェニック動物。遺伝子の銀行、遺伝子ライブラリー。遺伝子の異常を発見する遺伝子診断。遺伝子を根本から治療する遺伝子治療。特定種のタンパク質を造り出す技術。DNAの塩基配列の意味を解析する。ゲノムは必要最小限の遺伝情報。ヒトの遺伝子をすべて解読する。遺伝子組み換え技術の規制物理的封じ込め。遺伝子組み換え技術の規制生物的封じ込め。各種の細胞を増殖させる組織培養技術。バイオ技術によるバイオ化粧品。分化の機構を解明する研究。細胞同士を融合させる細胞融合技術。現在の農産物の主流、雑種強勢。苗を安定的に供給するバイオナーサリー。環境・人体にやさしいバイオ農薬。集中的に患部を攻撃するミサイル療法。抗原抗体反応で身体を守る免疫。酵素が溶けないようにする固定化する技術。酵素を繰り返し使えるバイオリクター。化学物質を測定できるバイオセンサ。汚染物質を分解して除去するバイオフィルター。生体機能を応用したバイオエレクトロニクス。神経の働きをまねたニューロコンピュータ。生体分子を利用したバイオチップ。自己組織化機能をもつバイオコンピュータ。海洋資源の有効利用マリンバイオテクノロジー。枯渇しない資源バイオマスの利用。低品位鉱を有効利用するバクテリアリーチング。生命倫理を研究するバイオエシックス。生体機能を人工的に実現する生体模倣技術。天然の酵素より優れた人口酵素。

メカトロニクスの先端技術

さまざまな分野の技術を統合したロボット学。モデルベースロボティクス。マンロボットインターフェース。自分の状態、環境を知るロボットセンサ。さまざまな内・外界センサ。複数の感覚を融合するセンサヒュージョン。ロボットに作業内容を伝えるロボット言語。手と目をもつロボット、ハンドアイシステム。人が作業できない所で働く極限作業ロボット。人間の命令で働く遠隔作業ロボット。マルチエージェントロボット。マイクロハンドリングロボット。ナノメーターレベルで作業するナノロボット。自律的に移動できるALV。ニューロ制御としてのアーム視界制御、ニューロ制御としての棒立て芸の習得。位置と力を制御するハイブリッド制御。制御分野で活躍するファジイ理論。ファジイ制御の推論メカニズム。知能ロボットへのファジイ制御の応用。干渉力を緩和させるコンプライアンス制御。バーチャルリアリティとしてのHMDとデータグローブ、バーチャルリアリティとしてのデータスーツ。ロボットの関節を動かすロボットアクチュエータ。形状記憶合金によるアクチュエータ。圧電アクチュエータとその基本原理。圧電アクチュエータとしての各種装置への応用。マイクロ環境を把握するマイクロ理工学。多くの技術が必要なマイクロマシン。各種応用が期待されるマイクロマシン。レーザーアシストエッチング法。微細な立体形状をつくるマイクロ放電加工技術。大量生産も可能な表面マイクロマシニング。短波長硬X線によるLIGAプロセス。

材料・新素材の先端技術

エンジニアリングプラスチック。高い反発弾性を示す超高弾性エラストマー。強度を理論的極限へもたらす超高強度高分子。数百度の熱に耐える耐熱性高分子。優れた吸水力をもつ高吸水性樹脂。従来の液晶より高速な液晶プラスチック。金属のように電気を通す導電性プラスチック。超高密度記録への挑戦光化ボルバーニング。微細加工に用いられるフォトリソ。生体適合性に優れたバイオマテリアル。生体機能を利用したバイオセンサー。物質の分離に使わ

れる機能性高分子膜。各分野で活躍するファインセラミックス。金属のように加工できる超塑性セラミックス。光学分野で期待される透光性セラミックス。画像メモリーに応用されるPLZT。スパッタ法によるセラミックス薄膜。多様化していくIC基板用セラミックス。温度や圧力を測定するセラミックセンサ。幅広く活躍する圧電セラミックス。燃料電池に用いられる超イオン伝導セラミックス。さまざまな種類の固体レーザー材料。骨と結合するバイオセラミックス。微量成分の添加や均一混合ができるゾルゲル法。ホットフォーミングと高温押し出し。大きく伸ばせる超塑性合金。加熱によって元に戻る形状記憶装置。コムのように元に戻る超弾性合金。結晶構造をもたないアモルファス合金。特殊な合金がつけられる非平衡金属材料。結晶でもアモルファスでもない準結晶。硬さと強さに優れた金属間化合物。新エネルギーの急先鋒、水素吸蔵合金。記録媒体として有望な光記録合金。小磁場でも磁化される軟磁性材料。磁気侵入を防ぐ磁気シールド。強磁性微粒子の溶液磁性流体。キャリアの移動度が大きい高移動度材料。GaAsに代表される化合物半導体。CDプレーヤーにも使われる半導体レーザー。撮像素子として使われるCCD。ELやLEDなどの半導体ディスプレイ素子。31%の効率で変換する高効率太陽電池。電子の波動的性質を利用した量子効果デバイス。高温用構造材として期待される繊維強化複合材料。粒子を分散させて強化する粒子分散強化複合材料。超微粒子を分散させたナノ複合材料。マルチタフニングとハイブリッド複合材料。数種類の高分子を含むポリマーアロイ。徐々に成分が変わる傾斜機能材料。表面を改質するコーティング技術。高温構造材として優れたC/Cコンポジット。インテリジェントマテリアル。OA・FAに進出しつつある光ファイバー。有機分子による分子エレクトロニクス。タンパク質を用いたバイオエレクトロニクス材料。人工筋肉への挑戦ゲル状アクチュエータ。血液ろ過にも使われる人工生体膜。農業・医薬で期待されるマイクロカプセル。超伝導磁石へ応用される金属系超伝導材料。臨界温度の高いセラミックス系超伝導材料。普遍的な元素で構成される有機系超伝導材料。純金属と合金・化合物、二種類の超伝導。超伝導の実用化に不可欠な超伝導線材。省エネで高速なジョセフソン素子。量子現象を観察できるSQUID。電力システムに有効な超伝導マグネット。

システム・情報の先端技術

新たなメディアパソコン通信。移動通信に必須な無線通信。国際通信に不可欠な衛星通信。通信サービスの総合化を目指すISDN。広範囲な情報を送れるB-ISDN。位置が正確にわかるナビゲーションシステム。活発な研究が行われるマルチメディア。各種サービスへのマルチメディアの応用。音楽学から演奏まで、音楽とコンピュータ。CGに代表されるコンピュータアート。情報の安全性を確保する暗号処理。本人かどうかを確認するユーザー認証。設計から保守まで体系化ソフトウェア工学。各種の作業を支援するCASEシステム。専門家の知識をもつエキスパートシステム。エキスパートシステムによる故障診断。線引きの道具から創造活動支援へ、自動設計。データベースからの発見の支援。コンピュータによる発想の支援。コンピュータの教育分野への応用。コンピュータに画像を認識させる技術。マンマシンインターフェース。コンピュータに音声認識させる技術。言葉の壁の解消を目指す機械翻訳システム。AIの中心的な課題、自然言語理解の研究。通訳不要を目指す自動翻訳電話。生体に学んだバイオコンピュータ。二つのアプローチからの神経系の研究。模擬生物システムを実現する人工生命。仮想現実感＝バーチャルリアリティ。曖昧性を表現するファジィ。コンピュータを高速化

する技術。演算処理が超高速なスーパーコンピュータ。CPU速度を上げる技術。パームトップコンピュータ。システムを破壊するコンピュータウイルス研究。

エネルギー・資源の先端技術

オゾン層を破壊するフロンの代替。酸性雨を引き起こす NO_x 、 SO_x の除去。二酸化炭素を減らす温暖化抑制技術。二酸化炭素の回収・固定化技術。リサイクルが注目されるその他の廃棄物問題。まだまだ埋蔵量はある石炭のガス化。石油の代替として期待される石炭の液化。クリーンエネルギーの代表、太陽電池発電。潜在能力の高いごみ発電。電力貯蔵、発電などへの超伝導の応用。電力の安定供給を目指す電力貯蔵。効果が高く公害が少ない燃料電池。再生可能なエネルギー、バイオマスエネルギー。合成法と発酵法によるエタノールの生産。微生物を用いたメタンの生産。未来の主役、水素エネルギー。燃料が生み出される高速増殖炉、高密度で短時間に行う慣性核融合。プラズマを加熱する三つの方法。本当に実現するか、常温核融合。直接発電を目指す核融合発電。原子力利用では不可欠な核燃料再処理。トリチウムの回収および増殖。

(東大先端研グループ (1993)、目次)

4. イノベーション・スピード

ビル・ゲイツは1980年代は品質が問題となった時代であり、1990年代はリエンジニアリング（業務の根本的革新）が課題であったとすれば、2000年代は速度が課題となる時代となるといった。(B. Gates (1999), 訳1ページ)

企業にとって品質の改良ということは永遠とも言える課題であり、課題であり続ける。しかしそれと同時に組織を効率化することもまた同じほど重要な課題である。あらゆる組織が高いベネフィットを低いコストで追求するのが使命である。企業はそれを計量・計算可能な収益を高め、コストを低くし続ける仕方で、つまり利潤を増大させる仕方で追求し続ける事になった。

しかも企業は利潤を単に増大させるのではなく、無限に最大化・極大化させ続ける。利潤最大化が原理になることによって、収益最大化が無限に追求され続け、コスト低下もまた無限に追求され続ける事になる。そのために企業組織も収益最大化が可能であり、同時にコスト低下も可能になるように組織改良を進める事になる。生産関数が収益最大化原理とコスト低下原理を目指して革新されていく。それがビジネス・プロセスのリエンジニアリングの土台になる原理である。

ビジネス・プロセスのリエンジニアリングは三つの考えから成り立っていた。第一に企業は自社のいろいろなプロセスを定期的に真剣に見つめる必要があるという事である。第二に仕事をあまり細分化して関係者の数が多くなりすぎると、全体のプロセスが見えなくなり、仕事がしにくくなるという事である。第三にアメフトの例でいえばハンドオフ、バックの一人が他のバックにボールを手渡す回数が多ければ多いほど、それだけ失敗の機会

も多くなる、ということである。

このビジネス・リエンジニアリングの理念を可能にするのが情報技術である。新しい業務プロセスをつくるのは大掛かりなプロジェクトである。成功とは何かを具体的に定義し、時間や仕事について初めと終わりを具体的に決めて、中間目標や予算なども明確に示さなければならない。最良のプロジェクトとは、関係者が顧客の描くシナリオを明確に意識しているものである。

情報技術が意義を持つようになるのはプロジェクトの全体を把握させ、時間的プロセスのスピード化を可能にすることによってである。解決しようとする問題を理解して業務プロセスを遂行することが最も重要である。目的の理解を十分にするために情報技術を使用する時、一連の反復ステップを踏む事が必要である。プロセスの流れをつくる事が大事である。責任体制の構築をプロジェクトの流れの中で進める事である。プロジェクトが大きければ大きいほど、失敗の頻度と浪費の度合いも高くなる。数か月の短期のプロジェクトは失敗の率が低くなる。プロジェクトを時間の流れの中におき直して問題点を自覚させ、責任と選択を明確にすることによって、累積すると何年もかかるプロジェクトでも、明確なチェックポイントを設けて、一連のより小さいプロジェクトとして段階ごとに処理することが可能になる。プロジェクトを時間の流れに細分化して、責任体制に構築し直す時、情報技術が役に立ち、デジタル・プロセス化することによって、プロセス・イノベーション化することが可能となる。デジタル・ナード・システム化することである。

企業の生産活動にとって製造工程と生産プロセスを情報技術を使って統合化することによって、プロセス自体の内部の動きを深く理解することも可能となる。設備がどのように機能しているかを正確に理解してオペレーション・システムを確立する。製造プロセスからデータを引き出して会社の他の業務システムとのネットワーキングを進める事も大切である。

そして製造プロセスからのデータを生産ラインの労働者に供給し、労働者の製品の品質を改善するようにさせる。「決められた仕事をする労働者」、機会に組み込まれた歯車ではなく、生産プロセス全過程に関わる権限と責任を果たす知的構成員になる。ある工場で鉄鋼の仕事をする溶接工は、コンピュータが作る設計図から溶接角度を計算するため、代数と幾何を知らなければならない。水処理の会社では、組み立てラインの労働者をコンピュータ化された生産測定と数学で訓練する必要がある。新しいデジタル・フォトコピー機はサービス要因としてネジ回しを器用に使えるだけではだめで、コンピュータとインターネットを理解する事が必要になっている。

まさに産業革命以降の「労働者」という在り方を「技術者」に革新したのが情報技術である。機械の歯車という在り方を生産プロセスを推進するプロジェクトに変える。客観的機械法則に主観的に従属して労働を売る労働者から主体的に生産プロセスを推進するプ

ロジクターになる。プロジェクトは時間の流れの中で、情報プロジェクトとして推進される。顧客のニーズに正確にしかもスピードを持って対応することが可能になる。

そして企業にとって収益を獲得するためスピード競争が重要なファクターとなる。情報がスピード競争の勝者・敗者を明確に作り出す。

こうしてシュンペーターの言うイノベーションはITによって時間的なスピード・イノベーションになる。「新結合」は「新しい」商品・サービスの生産を意味するだけでなく「スピード」を生産することも意味することになる。イノベーションは情報技術によって時間イノベーションになる。

5. 資本・労働概念の再検討

すでに述べたように古典派経済学の伝統以来の経済学の理論の中心問題は、 $O = F(K, L)$ という表現をとった生産関数の問題にあった。古典派経済学はアダム・スミス以来、どのように生産的労働を形成し、資本蓄積をなすかということを考えた。K. マルクスは価値の本来の源泉である生産的労働が生産手段であり労働手段であるはずの資本に従属し、資本制生産様式下でいかに労働を搾取して資本蓄積をなして行くかという点に関心をもった。ジェボンズ、メンガー、ワルラス以降の新古典派経済学は資本と労働を同じ価値主体と見てその効率的に最適な結合形態の形成、限界生産力の使用とそのための最適資本・労働比率の実現に焦点をあてた。

ケインズ革命以降の経済成長理論が構築される過程で、理論の基礎となるべき事実の探求がなされた。

そして有名な Kaldor (1961) の成長に関する「定型化された事実 (stylized fact)」が提示された。その一つとして、労働者一人当たりの産出量は絶えず増加し、生産性の成長率は減少傾向を示すことはないということを示した。この事実を解明するなかで明らかになってきた事は資本蓄積は、産出量増大の背後にある要因であると解釈することはできないという事である。決定的理由は「技術」にあった。(Grossman, G. M., and E. Helpman (1997))

この技術をどのように生産関数に組み込むか、一般的には

$$O = F(K, L, T)$$

と表示することであった。

しかしIT革命としての技術革新は資本、労働ともが技術化しているという事である。はっきりいって、技術を資本と労働と同じように生産要素として、資本、労働と独立した生産要素として生産関数に組み込む事は困難である。生産要素としての「資本」をどのように定義し、測定するかという議論は今でも解決していない。それだけでなく「労働」概念の定義、測定も困難になってきている。

「生産関数」の理論的意義は、使用される「生産関数」から生産要素が厳密に定義・測

定されることによって、「経済政策」を可能にすることにある。しかし、ITイノベーション過程で、現在用いられている「生産関数」論では、少なくとも失業・雇用問題を解決する視点は出てこない。

生産主体である企業が生産関数を設定するが、企業は生産要素を結合させて生産物を生産する。企業は生産物 O を生産する $F(X)$ に相当する。企業は組織 $F(X)$ を効率化させ、生産要素の結合結果を生産性上昇化させ、それによって価値および収益を増大させる。企業は企業組織内部と市場、技術環境の関係を情報、取引等の関係から効率化させ、外部性を内部化して資源配分、意思決定のプロセスを情報技術のプロセスによって流れを造り出す。それによって組織の合意形成が責任、決定判断によって活性化され、組織の構成員の行動と組織目的に乖離を無くすようにする。

伝統的な生産関数理論では企業組織機能 $F(X)$ の重要性は注目されなかった。生産要素間の関係、とくに微分関係のみが重視された。しかし $F(X)$ は決定的に重要である。企業はイノベーション企業に革新され続けることが必要になる。

企業組織は自己の目的達成のために報酬を払って意思決定権を他人に委譲するプリンシパルと、意思決定権の委譲を受けてプリンシパルの代理人として行動するエージェントという二つの主体間の関係を合理化し、企業活動はより合理化・一元化される。しかしエージェント理論において、エージェントに自由裁量的意思決定権が与えられているが、エージェントの裁量的意思決定権がもたらす効果とプリンシパルの期待効果が一致する保証が必ずしもないという問題が生じる。

プリンシパルとエージェントの関係を調整するためのインセンティブ・システムがエージェントの行動を制御する機能として、エージェントに対する報酬の成果成分システムとして機能することが求められるが、インセンティブを作り出す中で情報技術が決定的役割を果たすようになる。

このような情報技術体系としての企業組織、工場の中で生産要素の結合、とくに新結合の遂行がなされて価値増加が図られ、要素代替によって費用低下を遂行する。生産要素それ自身と要素関係が収益増大要因と費用低下要因という二つの機能を担う事になる。収益増大効果と費用低下効果の差額・控除結果として経済的余剰・利潤が達成される。企業はこの利潤の増大化を指標として経済活動を進める。企業間競争と需要関係によって利潤ないし利潤率は減少する傾向をもつから企業はイノベーションによって利潤および利潤率の増大化を図る。

すでに述べたように利潤原理は次のごとくである。

$$\text{利潤増大化} = \text{収益増大化} - \text{費用低下化}$$

企業は競争的圧力の欠如による企業の費用最小化諸要因が欠如して X 非効率が生じたり、不完全な労働規約、労働管理による X 非効率が生じる危険性を克服することを目標と

する。企業および経営者は労働者を解雇したりレイオフしたりして労働努力を監視し、賃金やボーナス、昇進等によってインセンティブを高めようとする。

労働インセンティブは利用可能な資源を完全に利用して生産していない場合と利用可能な資源を完全に利用しても生産過程において何らかの原因で効率的生産が行われない場合がある。企業は利用可能な資源の利用を完全に推し進めつつ、生産過程の中の効率的生産を推進しようとする。

産業社会は社会生活が企業で労働して企業が賃金として支払ったものを労働者が所得・給与として受け取って生活を営むという事が一般的である。労働者は生活を賃金、給与に依存している。そこでは労働者の生産性、努力水準が支払われる賃金の増加関数である。労働の生産性はインセンティブ、技術水準や技術進歩、熟練の関数である。

産業社会においては企業での雇用が中心となる。非自発的失業であれ、自発的失業であれ、さらに摩擦的失業であれ、いったん失業状態に陥ったらイノベーション・スピードを原理とする企業に再雇用されることは極めて困難になる。イノベーション・スピードに対応できる労働は極めて限られてくる。賃金引き下げによって企業が労働力市場をとおして再雇用するということは基本ではなくなる。

企業内部においても年功序列や終身雇用の場合企業内失業がある。この企業内失業問題を情報技術がどのように解消するかということが重要な課題となる。効率競争問題はまさに情報技術によって企業内失業を競争を通してなくして行くことを指すようにさえなる。競争がスピード化することによって労働問題は新しい次元に突入する。情報技術を手段として使用しプロジェクターになれる労働と、そうでない労働がはっきり区別され、プロジェクターになれない労働は廃棄される事になる。しかも再雇用されることはスピード化が進行している中では一層困難になる。

ケインズ革命の過程で産業社会の根本問題として失業・雇用問題がクローズアップされ、非自発的失業問題の深刻さが認識されたが、新たな失業・雇用問題が情報技術時代の進行とともに台頭してきている。

6. むすび

以上、科学情報とコンピュータ技術の統合関係、ソフトウェア工学に基づくインフォメーション・テクノロジーについて考察し、企業生産と技術革新の関係について考察した。そしてIT革命が単方向のマスメディアから双方向のネットワーク・メディアとして生産工程、流通体系、消費関係に及ぼす決定的意義について究明し、シュンペーターのイノベーション理論の方向性の中にあることをあらためて確認した。企業はイノベーション・スピード競争の中に巻き込まれ、イノベーション・スピードが企業の生命となる。それとともに生産関数理論そのものの再構成が必要になってきた。生産要素としての資本概念が技

術概念と区別がつかなくなってきたばかりでなく、労働概念そのものまでが技術概念と区別できなくなってきた。現在IT革命の生産効率、組織上の効率性の次元だけが注目されている。しかしIT革命の生産効率性が伝統的な生産概念を決定的に変えつつある。もはや独立した「生産要素」を確定することが不可能になりつつあり、したがってこの生産関数モデルを基礎にして分配を決定することも不可能になってきた。戦後イギリス・ケンブリッジとアメリカ・ケンブリッジ間で論争されてきた資本論争よりもっと根源的な問題が生産関数理論そのものに生じてきたのである。

参考文献

- Drucker, P. F., (1992), *Managing for the Future*. (上田惇生訳『未来企業』ダイヤモンド社)
- Gates, B., (1999), *Business@The speed of thought*, Warner books, Inc., New York. (大原進訳『思考スピードの経営』日本経済新聞社)
- Grossman, G. M., and E. Helpman, (1997), *Innovation and Growth*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England. (大住圭介訳『イノベーションと内生的経済成長』創文社)
- Heims, S. J., (1980), *John von Neumann and Nobert Wiener*, The Massachusetts Institute of Technology. (高井信勝訳『フォン・ノイマンとウィーナー』工学社)
- Kizza, J. M., (1998), *Ethical and Social Issues in the Information Age*, Springer-Verlag, New York, Inc. (大野正英・永安幸正監訳 (2001)『IT社会の情報倫理』日本経済評論社)
- Schumpeter, J. A., (1964), *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, Seckste Auflage, Dunker & Humblot / Berlin. (塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳 (1980)『経済発展の理論』岩波書店)
- Singh, J., (1996), *Great Ideas in Information Theory, Language and Cybernetics*, Dover Publications, Inc. (はやしはじめ他訳『情報・言語・サイバネティクス』白揚舎)
- Utterback, J. M., (1994), *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press, Boston. (大津正和訳『イノベーション ダイナミクス』有斐閣)
- 上田修一 (1989)『情報学基本論文集』Ⅰ、Ⅱ、勁草書房
- 後藤晃 (2001)『IT革命と競争政策』東洋経済新報社
- 森岡孝二 (1995)『企業中心社会の時間構造』青木書店
- 西田稔 (2000)『イノベーションと経済政策』八千代出版
- 西垣通 (2001)『IT革命』岩波新書
- 佐久間昭光 (1998)『イノベーションと市場構造』
- 東大先端研グループ (1993)『最先端技術のすべて辞典』日本実業出版社

(本稿は早稲田大学特定課題研究報告として提出するものである。)